

## PENGARUH POSISI PENGELASAN SMAW DENGAN VARIASI POSISI ELEKTRODA E3086 TERHADAP KEKUATAN IMPAK PADA STAINLESS STEEL AISI 304

**Bayu Arie Hanggara, Muksin R. Harahap**  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU

### Abstrak

Pada proses penyambungan logam, sering sekali dilakukan dengan posisi tertentu untuk mengikuti perencanaan serta perancangan konstruksi yang akan dilas. Pada pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari-hari sering kita menemukan pengelasan yang dilakukan pada lantai, dinding maupun langit-langit konstruksi.

Dari beberapa keadaan tersebut, maka dalam pengelasan ada penggolongan posisi dalam pengelasan. Posisi pengelasan tersebut adalah 1F, 1G, 2F, 2G, 3F, 3G, 4F, 4G, pipa 1G, pipa 2G, pipa 5G, pipa 6G. Dari penggolongan tersebut pada dasarnya posisi pengelasan secara garis besar digolongkan pada posisi mendatar/horizontal, tegak/vertikal dan diatas kepala/overhead.

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh posisi pengelasan terhadap ketangguhan impak dan tarik dengan material Stainless Steel 304 dengan pengelasan SMAW, mengetahui kualitas sambungan las dengan material Stainless Steel Aisi 304 pada hasil pengelasan SMAW dan perbedaan pola pengelasan pada hasil lasan

Dari analisis data dan pembahasannya, kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah Nilai ketangguhan dari spesimen hasil pengujian impak posisi 1G (Vertikal ke bawah) pada specimen pertama sebesar 3,500431 J/mm<sup>2</sup>, spesimen kedua sebesar 5,038924 J/mm<sup>2</sup>, dan spesimen ketiga sebesar 2,571218 J/mm<sup>2</sup>, Nilai ketangguhan dari spesimen hasil pengujian impak posisi 2G (Vertikal ke atas) pada pada specimen pertama sebesar 4,76126 J/mm<sup>2</sup>, spesimen kedua sebesar 20,03160J/mm<sup>2</sup>, dan spesimen ketiga sebesar 20,00169 J/mm<sup>2</sup>, Nilai ketangguhan dari spesimen hasil pengujian impak posisi 2G (Vertikal Tegak) pada specimen pertama sebesar 4,76126 J/mm<sup>2</sup>, spesimen kedua sebesar 20,03160J/mm<sup>2</sup>, dan spesimen ketiga sebesar 20,00169 J/mm<sup>2</sup>, Nilai ketangguhan impak rata-rata posisi 1G sebesar 3,70352 J/mm<sup>2</sup>, posisi 2G sebesar 14,93152 J/mm<sup>2</sup> dan posisi 3G sebesar 14,93152 J/mm<sup>2</sup>, Nilai kekuatan tarik rata-rata untuk kelompok 1G adalah 523,36 MPa, 2G adalah 537,65 MPa dan 3G adalah 563,17MPa, Nilai regangan rata-rata untuk kelompok 1G adalah 13,08 %, 2G adalah 12,88 %, dan 3G adalah 12,80 %.

**Kata kunci :** Posisi Pengelasan, SMAW dan Aisi 304

### 1. Pendahuluan

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan produksi logam.

Pada proses penyambungan logam, sering sekali dilakukan dengan posisi tertentu untuk mengikuti perencanaan serta perancangan konstruksi yang akan dilas. Pada pengaplikasiannya dalam kehidupan sehari-hari sering kita menemukan pengelasan yang dilakukan pada lantai, dinding maupun langit-langit konstruksi.

Dari beberapa keadaan tersebut, maka dalam pengelasan ada penggolongan posisi dalam pengelasan. Posisi pengelasan tersebut adalah 1F, 1G, 2F, 2G, 3F, 3G, 4F, 4G, pipa 1G, pipa 2G, pipa 5G, pipa 6G. Dari penggolongan tersebut pada dasarnya posisi pengelasan secara garis besar digolongkan pada posisi mendatar/horizontal, tegak/vertikal dan diatas kepala/overhead.

Terlebih lagi pada proses pengelasan berkelanjutan yaitu suatu konstruksi memerlukan pengelasan yang berurutan yang cepat dengan

posisi yang berbeda-beda. Dengan adanya keharusan posisi tersebut, maka akan memberikan hasil yang berbeda terhadapkekuatan dan kekerasan hasil lasan (Cary, 1980).

### 2. Landasan Teori

#### 2.1 Pengelasan

Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada waktu itu telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan hanya menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan

tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

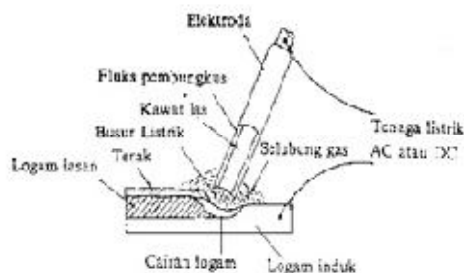
Di antara kedua cara klasifikasi tersebut, kelihatannya klasifikasi berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan, berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu :

- Pengelasan cair adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
- Pengelasan tekan adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
- Pematrian adalah cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

## 2.2. Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Las tistik ini menggunakan elektroda berselaput sebagai bahan tambah. Busur listrik yang terjadi diantara ujung elektroda dan bahan dasar akan mencairkan ujung elektroda dan sebagian bahan dasar. Selaput elektroda yang turut terbakar akan mencair dan menghasilkan gas yang melindungi ujung elektroda, kawah las, busur listrik dan daerah las di sekitar busur listrik terhadap pengaruh udara luar. Cairan selaput elektroda yang membeku akan menutupi permukaan las yang juga berfungsi sebagai pelindung terhadap pengaruh luar.

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja.



Gambar 1. Las SMAW

Pada dasarnya las listrik yang menggunakan elektroda karbon maupun logam, menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas. Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda dan benda kerja dapat mencapai temperatur tinggi yang dapat melelehkan sebagian bahan merupakan perkalian antara tegangan listrik ( $E$ ) dengan kuat arus ( $I$ ) dan waktu ( $t$ ) yang dinyatakan dalam satuan panas joule, atau kalori seperti rumus dibawah ini :

$$H = E \times I \times t$$

dimana :

H = Panas (Joule)

E = Tegangan Listrik (Volt)

$I = \text{Kuat Arus (Amper)}$

$$t = \text{Waktu (Detik)}$$

### 2.3 Klasifikasi Kawat Elektroda dan Fluksi

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

E menyatakan elaktroda busur listrik

XX (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan  $\text{lb/in}^2$  ( lihat tabel ).

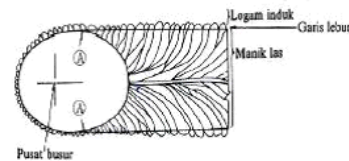
X (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan angka 1 untuk pengelasan segala posisi angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan.

X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

#### 2.4 Siklus Thermal Daerah Lasan ( *Heat Affected Zone* )

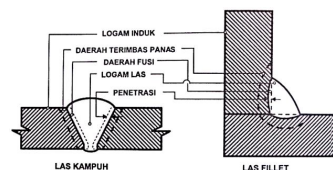
Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000), daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas ( HAZ ) dan logam induk yang tak terpengaruhi.

## 1. Logam Las



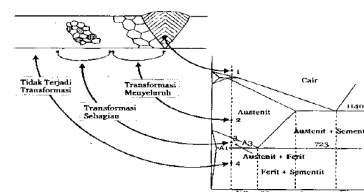
Gambar 2. Arah Pembekuan dari Logam Las

## 2. Logam Induk



Gambar 3. Bagian Las

### 3. Heat Affected Zone (HAZ)



Gambar 4. Transformasi Fasa Pada Logam Hasil Pengelasan

## 2.5 Desain Sambungan Las

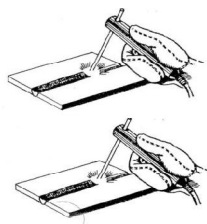
Dengan adanya beberapa kemungkinan pemberian beban sambungan las, maka terdapat beberapa jenis sambungan las, yaitu sebagai berikut:

1. Kampuh V Tunggal
2. Kampuh Persegi
3. Kampuh V Ganda
4. Kampuh Tirus Tunggal
5. Kampuh U Tunggal
6. Kampuh U Ganda
7. Kampuh J Ganda

## 2.6 Posisi Pengelasan

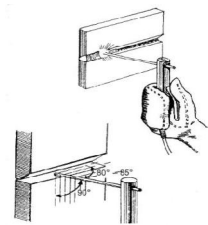
Posisi-posisi pengelasan terdiri dari :

1. Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*)



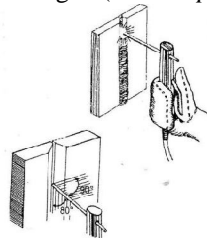
Gambar 5. Posisi Pengelasan Di bawah Tangan (*Down Hand Position*)

2. Posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*)



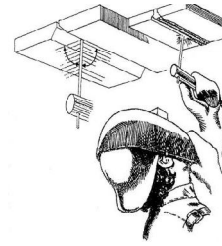
Gambar 6. Posisi Pengelasan Mendatar (*Horizontal Position*)

3. Posisi pengelasan tegak (*vertical position*)



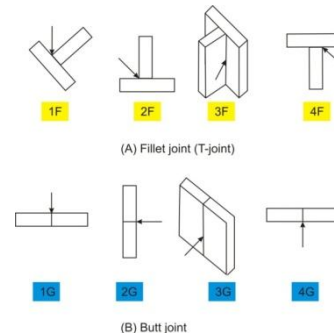
Gambar 7. Posisi Pengelasan Tegak (*Vertical Position*)

4. Posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*)

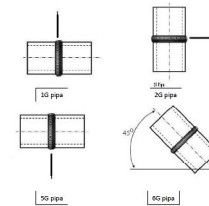


Gambar 8. Posisi Pengelasan Di atas Kepala (*Over Head Position*)

Penempatan benda kerja disesuaikan dengan permintaan, dalam hal ini adalah menyesuaikan posisi pengelasan.



Gambar 9. Posisi-posisi Pengelasan



Gambar 10. Posisi-posisi Pengelasan Untuk Pengelasan Pipa

## 2.6 Baja Stainless Steel AISI 304

Salah satu jenis baja stainless austenitic adalah AISI 304. Baja austenitic ini mempunyai struktur kubus satuan bidang (*face center cubic*) dan merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur – unsur pemuatan yang terkandung dalam AISI 304 akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Baja AISI 304 mempunyai kadar karbon sangat rendah 0,08% wt. Kadar kromium berkisar 18-20% wt dan nikel 8-10,5% wt yang terlihat pada Tabel 1. Kadar kromium cukup tinggi membentuk lapisan  $Cr_2O_3$  yang protektif untuk meningkatkan ketahanan korosi. Komposisi karbon rendah untuk meminimalisasi sensitasi akibat proses pengelasan.

Tabel 1. Komposisi Kimia *Stainless Steel AISI 304*

Unsur	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Cu	Fe
% wt	0,08	2	0,45	0,03	0,75	18 - 20	0,10	0	Balance

Tabel 2. Sifat Mekanik *Stainless Steel AISI 304*

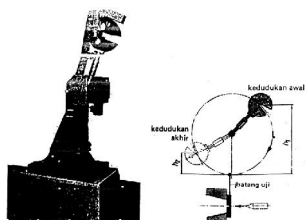
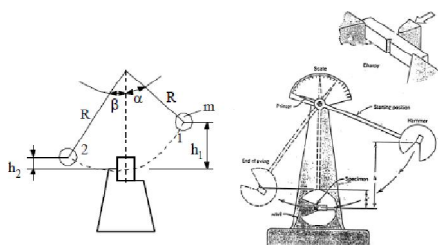
Thermal Ekspansi ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	Thermal Konduktivitas (W/m-K)	Spesific Heat (J/Kg-K)	Resistivitas ( $10^{-9}$ W-m)
17,2	16,2	500	720

Dengan berbagai sifat istimewa yang dimilikinya, paduan 304 banyak dimanfaatkan untuk berbagai sektor industri antara lain:

1. Industri Pembuatan Peralatan Masak
2. Bahan Pembuatan Baut, Mur dan Sekrup
3. Bahan Pembuatan Bak Cuci dan *Backsplash*
4. Industri Bangunan
5. Sistem Pipa
6. Membuat Perlengkapan Medis dan Laboratorium

## 2.7 Pengujian Impak

Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba). Metode yang sering digunakan adalah metode *Charpy* dengan menggunakan benda uji standar.

Gambar 11. Uji pukulan takik Metode *Charpy*

Gambar 12. Mekanisme Perpatahan Benda Uji Impak

## 3. Metode Penelitian

### 3.2 Bahan dan Alat

#### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Stainless Steel AISI 304*

#### 3.2.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

##### 1. Gergaji (*saw*)

Mesin gergaji yang digunakan Merk *Viebahn* 220 V dengan kecepatan potong 10 mm. Gergaji ini digunakan sebagai alat pemotong benda uji.



Gambar 13. Gergaji Besi

##### 2. Gerinda tangan

Penelitian ini gerinda tangan digunakan untuk merapikan hasil las an pada pesawat tanpa awak. Batu gerinda merupakan komposisi aluminium oksida. gerinda ini dapat menghasilkan putaran sekitar 11.000- 15.000 rpm.



Gambar 14. Gergaji Tangan

##### 3. Mesin las

Mesin las yang digunakan yaitu mesin las listrik.



Gambar 15. Mesin Las

##### 4. Mesin sekrap

Mesin sekrap yang digunakan adalah type L-450, mesin sekrap digunakan sebagai proses pembentukan benda uji pada uji impak. Mesin ini menggunakan mata pahat sebagai media pemakanan. Bentuk mata pahat dapat disesuaikan dengan bentuk benda yang diinginkan.



Gambar 16 Mesin Skrap

##### 5. Elektroda

Elektroda yang dipakai pada pengujian ini yaitu elektroda jenis E308L, dengan diameter 2,6 mm dan arus yang dipakai adalah sebesar 120 ampere.





Gambar 17. Kawat Elektroda

#### 6. Mesin impak Charpy



Gambar 18. Mesin impak Charpy

Keterangan gambar :

1. Skala
2. Tool pemutar bandul
3. Handbrake
4. Tumpuan spesimen
5. Bandul
6. Trigger

Spesifikasi mesin :

- a. Merk : Torsen Charpy Impact Testing Machine
- b. CAP : 30 kg-m
- c. Type : CI-30
- d. MFG.NO : EK9246
- e. Made in Japan 1992

## 4. Hasil Dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Pengujian

Hasil uji Impak untuk bahan baja Stainless Steel AISI 304 dengan variasi sudut kampuh  $45^\circ$  dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Ketangguhan Impak Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304

Posisi Pengelasan	No Sepesimen	Sudut $\alpha$	Sudut $\beta$	A (mm)	Jenis patahan
1G	1	147	144	55	Patah
	2	147	132,5	55	Patah
	3	147	127,4	55	Patah
2G	1	147	142,3	55	Patah
	2	147	135	55	Patah
	3	147	132	55	Patah
3G	1	147	145	55	Patah
	2	147	141,4	55	Patah
	3	147	136	55	Patah

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Kekuatan Impak pada Posisi Vertikal ke Atas (1G)

Hasil pengujian impak untuk Posisi 1G (Vertikal ke Atas) dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Ketangguhan Impak Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 1 G (Vertikal ke Atas)

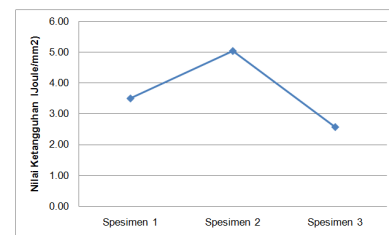
Spesimen	Sudut $\alpha$	Sudut $\beta$	A (mm)	Jenis patahan
1	147	144	55	Patah
2	147	132,5	55	Patah
3	147	127,4	55	Patah

Tabel 5. Hasil Perhitungan Ketangguhan Impak Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 1 G (Vertikal ke Atas)

Spesimen	A (mm <sup>2</sup> )	h <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	v <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	E Joule	I (J/mm <sup>2</sup> )	$\bar{I}$ (J/mm <sup>2</sup> )
1	55	0,330908	4,641388	192,5237	3,500431	3,70352
2		0,002935	2,572578	277,1408	5,038924	
3		0,528996	0,242281	141,4170	2,571218	

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai ketangguhan impak pada specimen pertama sebesar 3,500431 J/mm<sup>2</sup>, nilai ketangguhan impak pada specimen kedua sebesar 5,038924 J/mm<sup>2</sup>, dan nilai ketangguhan impak pada specimen ketiga sebesar 2,571218 J/mm<sup>2</sup>. Sementara nilai ketangguhan impak rata-rata specimen adalah 3,70352 J/mm<sup>2</sup>.

Nilai ketangguhan impak pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 1 G (Vertikal ke Atas) dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Nilai Ketangguhan Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 1G (Vertikal ke Atas)

### 4.2.2 Perhitungan Kuat Impak untuk Posisi 2G (Vertikal ke Bawah)

Dengan perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapat hasil perhitungan ketangguhan impak pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 posisi 2G (Vertikal ke Bawah) seperti tabel dibawah ini.

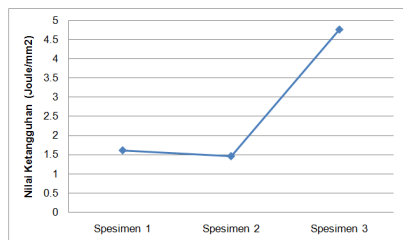
Tabel 6. Hasil Perhitungan Ketangguhan Impak Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 2G (Vertikal ke Bawah)

Spesimen	A (mm <sup>2</sup> )	h <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	v <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	E Joule	I (J/mm <sup>2</sup> )	$\bar{I}$ (J/mm <sup>2</sup> )
1	55	1,420796	5,330658	88,6674	1,612135	2,61009
2		1,388178	5,269114	80,2519	1,459125	
3		0,062609	1,119008	261,7449	4,758998	

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai ketangguhan impak pada specimen pertama sebesar 1,612135 J/mm<sup>2</sup>, nilai ketangguhan impak pada specimen kedua sebesar 1,459125 J/mm<sup>2</sup>, dan nilai

ketangguhan impact pada spesimen ketiga sebesar  $4,758998 \text{ J/mm}^2$ . Sementara nilai ketangguhan impact rata-rata spesimen adalah  $2,61009 \text{ J/mm}^2$ .

Nilai ketangguhan impact pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 2 G (Vertikal ke Bawah) dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Nilai Ketangguhan Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 2G (Vertikal ke Bawah)

#### 4.2.3. Perhitungan Kuat Impact untuk Posisi 3G (Vertikal Tegak)

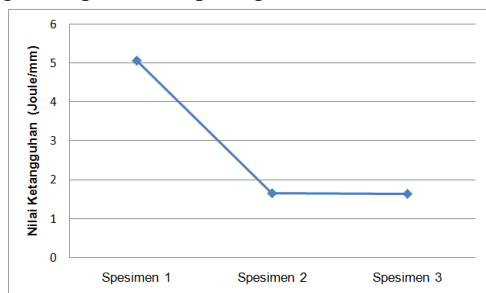
Dengan perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapat hasil perhitungan ketangguhan impact pada spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 3G (Vertikal ke Bawah) seperti tabel dibawah ini.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Ketangguhan Impact Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 3G (Vertikal Tegak)

Spesimen	A (mm <sup>2</sup> )	h <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	v <sub>2</sub> (m <sup>2</sup> )	E Joule	I (J/mm <sup>2</sup> )	$\bar{I}$ (J/mm <sup>2</sup> )
1	55	0,00018	4,64139	277,85060	5,05183	2,78137
2		1,42975	0,06066	90,97690	1,65413	
3		1,42634	5,34743	90,09810	1,63815	

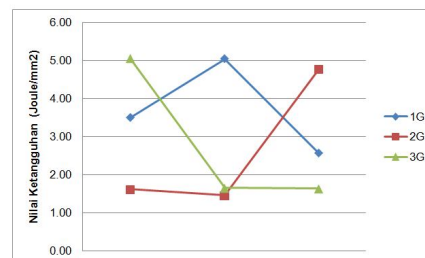
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai ketangguhan impact pada specimen pertama sebesar  $5,05183 \text{ J/mm}^2$ , nilai ketangguhan impact pada spesimen kedua sebesar  $1,65413 \text{ J/mm}^2$ , dan nilai ketangguhan impact pada spesimen ketiga sebesar  $1,63815 \text{ J/mm}^2$ . Sementara nilai ketangguhan impact rata-rata spesimen adalah  $2,78137 \text{ J/mm}^2$ .

Nilai ketangguhan impact pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 3 G (Vertikal Tegak) dapat dilihat pada gambar 21.

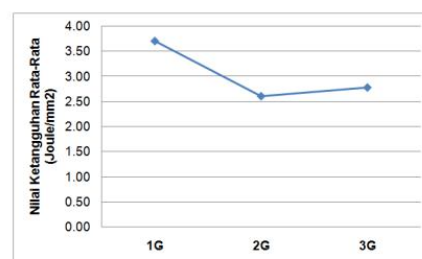


Gambar 21. Nilai Ketangguhan Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 Posisi 3G (Vertikal Tegak)

Nilai ketangguhan impact pada Spesimen Stainless Steel AISI 304 seluruh variasi posisi dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Nilai Ketangguhan Pada Spesimen Steel AISI 304 Variasi Posisi



Gambar 23. Nilai Ketangguhan Impact Rata-rata Pada Spesimen Stainless Steel AISI 304

## 5.1 Kesimpulan

Dari analisis data dan pembahasannya, kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Nilai ketangguhan dari spesimen hasil pengujian impact posisi 1G (Vertikal ke bawah) pada specimen pertama sebesar  $3,500431 \text{ J/mm}^2$ , spesimen kedua sebesar  $5,038924 \text{ J/mm}^2$ , dan spesimen ketiga sebesar  $2,571218 \text{ J/mm}^2$
2. Nilai ketangguhan dari spesimen hasil pengujian impact posisi 2G (Vertikal ke atas) pada specimen pertama sebesar  $4,76126 \text{ J/mm}^2$ , spesimen kedua sebesar  $20,03160 \text{ J/mm}^2$ , dan spesimen ketiga sebesar  $20,00169 \text{ J/mm}^2$
3. Nilai ketangguhan dari spesimen hasil pengujian impact posisi 2G (Vertikal Tegak) pada specimen pertama sebesar  $4,76126 \text{ J/mm}^2$ , spesimen kedua sebesar  $20,03160 \text{ J/mm}^2$ , dan spesimen ketiga sebesar  $20,00169 \text{ J/mm}^2$
4. Nilai ketangguhan impact rata-rata posisi 1G sebesar  $3,70352 \text{ J/mm}^2$ , posisi 2G sebesar  $14,93152 \text{ J/mm}^2$  dan posisi 3G sebesar  $14,93152 \text{ J/mm}^2$ .
5. Dari nilai ketangguhan rata-rata berbagai posisi pengelasan, maka posisi pengelasan Vertikal Tegak (3G) lebih baik dibandingkan dengan kedua posisi lainnya.

### Daftar Pustaka

- [1] Alip, Mochamad. 1989. Teori dan Praktik Las. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- [2] Amanto, Hari. 1999. Ilmu Bahan. Jakarta: Bumi Angkasa.
- [3] Arifin, Samsul. 1997. Las Listrik Dan Otogen. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- [4] Arikunto, Suharsimi. 1996. Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktek. Rineka Cipta: Jakarta.
- [5] Beumer, B.J.M. 1994. Ilmu Bahan Logam. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- [6] Bintoro, A. Gatot. 2005. Dasar-Dasar Pekerjaan Las. Kanisius: Yogyakarta.
- [7] Dieter, George E. 1987. Metalurgi Mekanik. Jakarta: Erlangga.
- [8] Elert, Glenn. "*Density of Steel*". Diakses 2009-04-23.
- [9] Love, George. 1986. Teori Dan Praktek Kerja Logam. Jakarta: Erlangga.
- [10] Suharto. 1991. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Rineka Cipta.
- [11] Vlack, Lawrence H. Van dan Sriati Djaprie. 1989. Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam Dan Bukan Logam). Jakarta: Erlangga.
- [12] Widharto, Sri. 2003. Petunjuk Kerja Las. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [13] Wiryosumarto, Harsono dan Thosie Okumura. 2004. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.